

Rec'd PCT/PTO 11 FEB 2005

10/524525

14-08-03

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

EP03/03052

PRIORITY DOCUMENT
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH
RULE 17.1(a) OR (b)



REC'D 16 SEP 2003	
WIPO	PCT

**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung
einer Patentanmeldung**

Aktenzeichen:

102 37 249.7

Anmeldetag:

14. August 2002

Anmelder/Inhaber:

PerkinElmer Optoelectronics GmbH, Wiesbaden/DE

Bezeichnung:

Verfahren zum selektiven Abtragen von Material aus
der Oberfläche eines Substrats, Maskierungsmaterial
für einen Wafer und Wafer mit einem Maskierungs-
material

IPC:

H 01 L, B 81 C

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ur-
sprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 28. Juli 2003
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

BEST AVAILABLE COPY

Stech

BEETZ & PARTNER

Patentanwälte
European Patent Attorneys
European Trade Mark Attorneys

Steinsdorfstraße 10 - D-80538 München
Telefon +49 89 2168 9100
Telefax +49 89 2168 9200

543-58.447P/AP/zi

gegründet 1926
Dipl.-Ing. R. BEETZ sen. (1926-1991)
Dr.-Ing. R. BEETZ jun. (1969-2000)

Dipl.-Ing. J. SIEGFRIED
Prof. Dr.rer.nat. W. SCHMITT-FUMIAN
Dipl.-Phys. Dr.rer.nat. C.-M. MAYR
Dipl.-Ing. A. PFEIFFER
Dipl.-Ing. B. MATIAS

Rechtsanwältin P. KOTSCH

14.08.2002

Anmelder:
PerkinElmer Optoelectronics GmbH
Wiesbaden

Verfahren zum selektiven Abtragen von Material aus der
Oberfläche eines Substrats, Maskierungsmaterial für
einen Wafer und Wafer mit einem Maskierungsmaterial

Die Erfindung betrifft ein Abtragverfahren sowie ein Maskierungs-
material für ein Substrat, etwa einen Wafer und ein Substrat bzw.
einen Wafer mit einem solchen Maskierungsmaterial nach den
Oberbegriffen der unabhängigen Ansprüche.

Selektiver Materialabtrag aus einer Substratoberfläche kann da-
durch erfolgen, daß diejenigen Oberflächenbereiche, aus denen

nichts abgetragen werden soll, maskiert werden und die verbleibenden, freien Bereiche einem Ätzmittel ausgesetzt werden. Ausgehend von den nicht maskierten Bereichen kann dann in die Tiefe des Substrats Material abgetragen werden. Dabei können jedoch verschiedene Probleme auftreten:

- Das Ätzmittel ätzt nicht nur die freien Oberflächenbereiche, sondern auch das Maskierungsmaterial. Je nach Einwirkungsdauer kann es zur Verdünnung oder zum vollständigen Abtrag der Maskierung und darauf folgend zum Abtrag aus der eigentlich zu schützenden Substratoberfläche kommen.
- Es kann zu Unterätzungen kommen. D.h., daß von den Seitenwänden des schon hergestellten Gesenks seitlich unter die Maske geätzt wird, so daß die Ränder unter der Maskierungsschicht ausgefranst und nicht definiert erscheinen. Außerdem sind die Wände des entstehenden Gesenks nicht glatt.
- Ungleichförmige Ätzraten innerhalb eines einzigen Gesenks und/oder über mehrere Gesenke auf einem Substrat hinweg führen zu undefinierten Tiefen.
- Unerwünschte Redepositionen weggeätzten Materials. Es kann sich weggeätztes Substrat- und/oder Maskierungsmaterial in unerwünschter Weise bzw. an ungünstigen Stellen auf dem Substrat und/oder der Ätzvorrichtung ablagern und zu unbrauchbaren Ergebnissen oder zu nicht mehr arbeitenden Ätzvorrichtungen führen.
- Bei der Herstellung tiefer Gesenke (Tiefe $T > 200 \mu\text{m}$) kann die Ätzgeschwindigkeit zu niedrig sein, um wirtschaftlich brauchbare Ergebnisse zu liefern.

Ätzprozesse können isotrop (d.h. in alle Richtungen gleichwirkend) oder anisotrop (in bestimmte Raumrichtungen besser als in andere Raumrichtungen wirkend) sein. Naßätzen ist ein in der Regel isotroper Ätzvorgang, der jedoch vergleichsweise langsam ist und zum Ätzen tiefer Gesenke beispielsweise in einem Siliciumwafer nicht geeignet ist. Trockenätzen hat eine höhere Ätzrate (Abtrag pro Zeit). Hierbei wird eine Ätzplasma (beispielsweise SF_6) erzeugt und zur Einwirkung auf die zu ätzenden Stellen gebracht. Unter "Plasma" sind hierbei auch hochionisierte (nicht vollständig ionisierte) Aggregatzustände zu verstehen. Es wird auch als RIE (Reaktives Ionenätzen, "Reactive Ion Etching") bezeichnet. Soweit tiefe Gesenke herzustellen sind, wird dies als DRIE ("Deep Reactive Ion Etching") bezeichnet, soweit Trockenätzen verwendet wird. Hier stellen sich die besonderen Anforderungen an die Homogenität des Ätzvorganges und die Widerstandsfähigkeit des Maskierungsmaterials. Eine weitere Erhöhung der Ätzgeschwindigkeit kann mit dem ICP-Ätzen erreicht werden. Hier wird hochionisierte Plasma durch induktive Energieeinkopplung erzeugt (ICP = Inductively Coupled Plasma). Die Ätzraten sind hierbei so hoch, daß mit üblichen Maskierungsschichten aus Polymeren oder Oxiden nur geringe Gesenktiefen erreicht werden können, bevor neben dem Substrat auch die Maskierungsschicht weggeätzt ist.

Andererseits ist es bekannt, Maskierungsschichten mit oder ganz (>98 Gew-%) aus metallischen Materialien, insbesondere Aluminium, zu verwenden. Sie haben die Eigenschaft, daß sie auch bei dünnen Maskierungsschichten auch beim ICP-Ätzen so widerstandsfähig sind, daß tiefe Gesenke hergestellt werden können, ohne daß die Maskierungsschicht vorher abgetragen wäre. Gleichwohl aber

wird auch Material aus der Maskierungsschicht weggeätzt. Es lagert sich unter anderem in der Ätzvorrichtung wieder ab und dort auch an bzw. in den die induktive Einkopplung tragenden Röhren. Diese werden dadurch metallisch leitend, so daß sich die induktive Einkopplung und damit die Ätzrate anfänglich verschlechtert und schließlich zusammenbricht. Eine teure und aufwendige Reinigung des Gerätes ist die Folge.

Das Unterätzen der Maskierungsschicht wird durch ein Verfahren vermieden, wie es aus US 5 501 893 bekannt ist. Kurz gesagt werden hierbei abwechselnd (mit Periodizität weniger Sekunden) Ätzgas und ein Passivierungsgas der zu ätzenden Oberfläche zugeführt. Bei geeignetem Layout lagert sich das Passivierungsmittel im Passivierungsgas an den Seitenwänden des Gesenks ab, so daß das Ätzgas nur am Boden des Gesenks ätzt, so daß das Unterätzen vermieden und in etwa senkrechte Wände erzeugt werden.

Aufgabe der Erfindung ist es, ein Ätzverfahren anzugeben, das die Bildung tiefer Gesenke mit hoher Ätzrate erlaubt.

Diese Aufgabe wird mit den Merkmalen der unabhängigen Ansprüche gelöst. Abhängige Ansprüche sind auf bevorzugte Ausführungsformen der Erfindung gerichtet.

Die Erfindung betrifft insbesondere Tiefenstrukturierung in Silicium oder Germanium oder allgemein in einem Halbleiter oder einem als Halbleitersubstrat geeignetem Material. Es wird hierbei ein Trockenätzverfahren verwendet. Die Maskierung des Abtrags erfolgt ganz oder teilweise auch mit einem metallischen Material, vorzugsweise

Aluminium oder bestimmte Legierungen. Schließlich werden Maßnahmen ergriffen, um die Redeposition des auch weggeätzten Maskenmaterials (Metalls), insbesondere am Ätzgerät, zu verhindern. Vorzugsweise wird beim Ätzen induktive Energie in das Ätzmedium eingekoppelt (ICP). Hier kann die Verhinderung der Redeposition an sensitiven Gerätekomponenten dadurch erreicht werden, daß das Substrat ausreichend weit von der induktiven Einkopplung entfernt gehalten wird. Der Abstand kann mindestens 8, vorzugsweise mindestens 10, weiter vorzugsweise mindestens 13 cm sein. Der Abstand kann auch mindestens die doppelte, vorzugsweise mindestens die dreifache mittlere, freie Weglänge der Plasmaatome sein. Die Tiefe des herzustellenden Gesenks beträgt vorzugsweise mindestens 80 μm , weiter vorzugsweise mindestens 150 μm , weiter vorzugsweise mindestens 300 μm . Es kann auch vollständig durch einen Wafer hindurchgeätzt werden (bzw. bis zu einer Ätzstoppschicht auf der anderen Seite des Wafers).

Nachfolgend werden beziehend auf die Zeichnungen einzelne Ausführungsformen der Erfindung beschrieben, es zeigen:

Fig. 1 eine schematische Seitenansicht der Verhältnisse beim Ätzprozeß,

Fig. 2 einen teilweise geätzten Wafer im Schnitt,

Fig. 3 einen maskierten Wafer (Ausschnitt) in Draufsicht, und

Fig. 4 eine Darstellung von Verhältnissen beim Durchätzen durch einen Wafer.

Fig. 1 zeigt Verhältnisse während des Ätzvorganges. Mit 8 ist ein Vakuumbehälter bezeichnet, der während des Ätzvorganges evakuiert wird. Der Druck während des Ätzens beträgt vorzugsweise unter 5 Pa, weiter vorzugsweise unter 3 Pa. Eine Öffnung 8a ist vorgesehen, um einen Wafer 10 mit Maskierung 1 darauf einführen bzw. wieder entnehmen zu können. Der Wafer 10 mit Maskierung 1 kommt auf einem Tisch zu liegen, der hier schematisch als Platte 2a eines Kondensators dargestellt ist, dessen gegenüberliegende Platte 2b oben in der Kammer 8 angebracht ist. An den Kondensator wird während des Ätzens eine Gleichspannung 5 von vorzugsweise 20 - 100 V sowie eine Wechselspannung 6 (Frequenz beispielsweise 13,56 MHz) angelegt. 11 bezeichnet einen Gaseinlaß, der zwischen die Platten 2a, 2b des Kondensators einerseits Ätzgas und andererseits gegebenenfalls auch Passivierungsgas einleitet. Hierzu ist eine Flußsteuerung 12 vorgesehen, die aus entsprechenden Vorratsbehältern 13 und 14 jeweils abwechselnd das eine bzw. das andere Gas dem Auslaß 11 zuführt.

Die induktive Energieeinkopplung erfolgt mittels einer Spule 3 mit wenigen Windungen (Windungszahl $n < 6$ vorzugsweise < 4). Diese Spule ist auf einem beispielsweise röhrenförmigen Träger 4, der aus einem dielektrischen Material wie beispielsweise Aluminiumoxid, Aluminiumnitrid, Quarz, Hartglas, Quarzglas oder Mischungen mit einem oder mehreren dieser Materialien bestehen kann, aufgebracht und wird mit einer Wechselspannung einer Frequenz von beispielsweise ebenfalls 13.56 MHz oder allgemein im Bereich von 4 MHz bis 41 MHz und einer Leistung von 2-5 KW versorgt. Die Ätzrate ist vorzugsweise größer $1 \mu\text{m}/\text{min}$, vorzugsweise größer $2 \mu\text{m}/\text{min}$.

Der Träger 4 kann sich unmittelbar an bzw. unter der Platte 2b des Kondensators befinden. Es können mehrere Dauermagnete vorgesehen sein, die so in Reihe angeordnet sein können, daß sich Nord- und Südpole abwechseln. Es können mehrere (nicht gezeigte) Dauermagnete vorzugsweise regelmäßig verteilt am Umfang und weiter vorzugsweise außerhalb des Trägers 4 angebracht sein. Pole des durch die Dauermagnete erzeugten Magnetfeldes können in axialer Richtung des Trägers 4 beabstandet sein. Die Dauermagnete können länglich sein und sich in Axialrichtung des Trägers 4 bzw. in Richtung des Gasflusses erstrecken. Die Magnete können hierbei über den Umfang verteilt abwechselnd gegenparallel angeordnet sein (N-S, dann S-N, dann wieder N-S, ...). Die Dauermagnete haben die Aufgabe, die Induktionswirkung für die Ionen und Elektronen gleichförmiger zu machen und den Absolutwert der Elektronentemperatur am Wafer zu verringern.

Mit 9 sind weitere Komponenten innerhalb des Vakuumbehälters 8 angedeutet, beispielsweise Handling-Automaten u.ä.. Eine Steuerung bzw. Regelung 15 steuert bzw. regelt die einzelnen Komponenten. Nicht gezeigt ist eine Pumpe zum Evakuieren des Behälters während des Betriebes.

Die Maskierung 1 des Wafers 10 weist ein metallisches Material oder eine Legierung auf, vorzugsweise mit Aluminium, oder besteht vollständig (> 98 Gew-%) daraus. Der Abstand A zwischen zu ätzender Oberfläche und Unterkante des Spulenträgers 4 oder der Spule 3 selbst beträgt mindestens 8 cm, vorzugsweise mindestens 10 cm, weiter vorzugsweise mindestens 12 cm oder mindestens die zweifache

mittlere freie Weglänge der Ätzatome, vorzugsweise mindestens die dreifache mittlere freie Weglänge. Dadurch ist sichergestellt, daß die Redeposition des auch weggeätzten Aluminiums an der Innenwand des Spulenträgers 4 verhindert wird. Dadurch wird dieser nicht leitend und blockt somit auch nicht das eingekoppelte Magnetfeld.

Die Maskierung kann alternativ zu oder zusammen mit Aluminium auch Cr oder Ni oder Pt oder Au oder Fe als Hauptbestandteil (> 90 Gew.-%, vorzugsweise > 96 Gew.-%) aufweisen. Es können auch Aluminium- oder Nickellegierungen verwendet werden, z. B. AlCu, AlSi, AlTi, NiFe, NiCr, oder auch die Chromlegierung CrAu. Insbesondere folgende Legierungen sind als Maskierungsmaterial denkbar:

AlNiFe, z. B. 11-13 Al, 21-23 Ni, Rest Fe, "AlNi 090",
 AlNiFe, z. B. 13-15 Al, 27-29 Ni, Rest Fe, "AlNi 120",
 AlNiCo, z. B. 9-11 Al, 19-21 Ni, 14-16 Co, >1 CuTi, Rest vorzugsw. Fe, "AlNiCo 160",
 AlNiCo, z. B. 11-13 Al, 18-20 Ni, 14-16 Co, 3-5 Cu, Rest vorzugsw. Fe, "AlNiCo 190",
 AlCu, z. B. 0,5-2 Cu, Rest Al,
 AlSi, z. B. 0,5-2 Si, Rest Al,
 AlTi, z. B. max. 3, vorzugsw. max. 1,5 Ti, Rest Al,
 NiFe, z. B. 35-37 Ni, Rest Fe, "Hyperm 36 M",
 NiFe, z. B. 49-51 Ni, Rest Fe, "Hyperm 52",
 NiCr, z. B. 78-82 Ni, Rest Cr,
 CrAu, z. B. 45-55 Cr, Rest Au.

Die obigen dimensionslosen Zahlen sind Gewicht- oder Volumen-Prozentangaben. Besonders bevorzugt sind die jeweiligen Mittelwerte der angegebenen Bereiche.

Figur 2 zeigt den Wafer 10 schematisch vergrößert im Schnitt. Auf dem Wafer 10 ist die Maskierung 1 angebracht. Die Maskierung 1 weist Metall oder eine Legierung oder ein Kompositmaterial mit Metall auf oder besteht vollständig daraus. Bevorzugtes Material ist Aluminium bzw. eine Aluminiumlegierung. Die Legierung kann mindestens 90 Gew.-% Metall bzw. Aluminium aufweisen. Mit 25 sind schon ausgebildete Gesenke bezeichnet, die bis zu einer gewissen Tiefe in den Wafer hineingeätzt sind. Die momentane Tiefe ist dabei mit T bezeichnet. Die Dicke D des Wafers kann einige hundert μm betragen und beispielsweise zwischen 150 μm und 600 μm liegen. Die Höhe H der Maskenschicht 1 beträgt weniger als 1 μm , vorzugsweise weniger als 500 nm. Die Wände können in etwa senkrecht hergestellt werden. Der Winkel α einer Wand bzw. aller Wände zum Boden kann im Bereich zwischen 85° und 95° liegen. Wenn gewünscht, kann er aber auch kleiner als 90° sein. Dann weitet sich das Gesenk nach unten hin auf, und es verbleiben zwischen Gesenken nach unten dünner werdende Trennwände, was vorteilhaft sein kann, wenn beispielsweise durchzuätzen ist und von den Stegen zwischen den Gesenken 25 Membranen zur thermisch isolierten Halterung von Sensoren (insbesondere Infrarotdetektoren) zu halten sind.

Beim ICP-Ätzen in die Tiefe des Wafers hinein kann abwechselnd Ätz- und Passivierungsgas zugeführt werden. Dies kann durch die Flußsteuerung 12 gegebenenfalls durch Maßgabe der übergeordneten Steuerung 15 erfolgen. Die Gase werden aus den Reservoirs 13 für Ätzgas und 14 für Passivierungsgas zugeführt. Die einzelnen Phasen können jeweils einige Sekunden dauern (insbesondere je-

weils unter 10 s, vorzugsweise unter 6 s) und lösen einander unmittelbar ab. Die Evakuierung kann kontinuierlich erfolgen.

Fig. 3 zeigt schematisch die Draufsicht auf einen Ausschnitt eines Wafers. Gezeigt ist ein sich wiederholendes Muster von Vertiefungen, wobei die einzelnen Exemplare des Musters längs Zeilen 35 und Spalten 34 angeordnet sind. Die gestrichelten Linien dienen lediglich der Visualisierung und sind tatsächlich nicht vorhanden. Pro einzel-
nem Muster sind unterschiedliche Vertiefungen 31, 32 und 33 vorgesehen. Diese entsprechen Auslassungen in der Maske 36, die die übrige Waferfläche vorzugsweise vollständig und vorzugsweise auch über die (vertikale) Umfangsseite des Wafers 10 bedeckt. Auf diese Weise können auf einem Wafer in einem Herstellungsschritt gleichzeitig viele gleichartige Vertiefungsmuster hergestellt werden, die nach dem Ausbilden der Vertiefungen voneinander getrennt werden. Die zu ätzende Fläche kann mindestens 8 %, vorzugsweise mindestens 20 % der Substratoberfläche betragen, weiter vorzugsweise mehr als 35 %. Das Substrat selbst kann ein scheibenförmiger Wafer sein, der beispielsweise im wesentlichen kreisförmig ist und einen Durchmesser von mindestens 10 cm, vorzugsweise mindestens 15 cm hat. Der Wafer selbst kann Silicium aufweisen oder ganz daraus bestehen. Vorzugsweise ist er kristallines Silicium.

Fig. 4 zeigt Verhältnisse beim Durchätzen eines Substrats bzw. Wafers 10. Gezeigt ist der Zustand, in dem der Wafer schon fast vollständig von oben bis unten durchgeätzt wurde. Auf der anderen Substratoberfläche (in Fig. 4 unten) wurde in dieser Ausführungsform schon vor dem Ätzvorgang im Bereich des Durchtritts des Loches eine Ätzstoppschicht 48 vorgesehen, auf der eine dünne Mem-

bran 49 aufgebracht ist, auf der später (oder auch gleich) eine thermisch isoliert zu haltende elektronische Komponente 47 ausgebildet werden kann. Das wie oben beschriebene Ätzen hat zu dem Ergebnis geführt, daß eher in der Mitte des Gesenks 25 schon bis zur Ätzstoppschicht 48 durchgeätzt wurde, die eine vergleichsweise glatte Oberfläche 43 aufweist, während eher in den Winkeln noch Bereiche 42 des Substratmaterials stehen geblieben sind, die eine vergleichsweise rauhe Oberfläche aufweisen. Gelegentlich kann durch Redeposition von Maskenpartikeln 1' die Bildung von Nadeln 44 auftreten.

Die Erkennung eines Zustands wie in Figur 4 gezeigt kann durch einen Tiefensensor 45, 46 erfolgen. Es kann sich beispielsweise um eine Lichtquelle, insbesondere eine Laserlichtquelle 45 handeln, die vorzugsweise in die Mitte (Entfernung E vom Rand $> 20\%$, vorzugsweise $> 40\%$ der Querabmessung Q (Durchmesser oder Kantenlänge) des Gesenks 25 strahlt. Ein Sensor 46 wertet das reflektierte Licht aus. Die optischen Pfade sind schematisch gestrichelt angedeutet. Solange Laserlicht von der vergleichsweise rauhen Oberfläche des noch wegzuätzenden Substrats (wie schematisch bei 42 gezeigt) reflektiert wird, ist die Reflektion vergleichsweise ungerichtet und somit das am Sensor 46 empfangene, reflektierte Licht schwach. Wenn dagegen in der Regel beginnend in der Mitte des Gesenks 25 die Ätzstoppschicht 48 freigelegt wird, wird von der dann glatteren Oberfläche 43 zunehmend gerichtet reflektiert, so daß die beim Sensor 46 empfangene Intensität steigt.

Somit kann beispielsweise die Intensität des empfangenen, reflektierten Lichts auf einen Schwellenwert abgefragt werden. Es ist auch

möglich, die erste Ableitung (die Veränderung des empfangenen Signals) auf einen Schwellenwert abzufragen. Die erste Ableitung kann zeitdiskret gebildet werden. Allgemein kann die Tiefenmessung durch Auswertung reflektierten Lichts erfolgen.

Wenn die Ätzstoppschicht 48 schon teilweise freigelegt ist, kann auf einen anderen Ätzvorgang umgeschaltet werden, vorzugsweise wird ein isotroper Ätzvorgang verwendet, um zum Einen die Ätzstoppschicht 48 zu schonen und zum Anderen in den Eckbereichen 42 sowie Nadeln 44 wegätzen zu können. Dies kann nach wie vor mittels ICP erfolgen. Es kann jedoch der Gasdruck erhöht und/oder die angelegte Vorspannung verringert werden. Durch Erhöhung des Drucks sinkt die freie Weglänge, und die Bewegungsrichtung der Ionen ist weniger streng an den Feldlinien des angelegten Gleichspannungsfelds ausgerichtet, so daß der Ätzvorgang isotroper wird. Auch durch Verringerung der angelegten Gleichspannung ergibt sich ein ähnlicher Prozeß bzw. ein isotroperer Ätzvorgang.

Nach diesem zweiten Ätzvorgang kann zuletzt noch auf einen dritten Ätzvorgang umgeschaltet werden, bei dem vorzugsweise die angelegte Vorspannung Null ist. Ansonsten kann abermals trocken und/oder mit induktiv energiegekoppeltem Plasma geätzt werden. Dieser dritte Ätzvorgang ist vorzugsweise isotrop.

Nach Beendigung des Ätzvorgangs wird die Maske 1 entfernt. Dies kann durch nasses Ätzen erfolgen. Davor kann eine Entfernung von auf der Maske abgelagerten Passivierungsmittelresten (Polymerresten) erfolgen. Dies kann beispielsweise mittels Sauerstoffplasma erfolgen. Die Entfernung der Maske selbst kann mit

TMAH (Tetramethylammoniumhydroxid, vorzugsweise in wässriger Lösung - TMAHW) erfolgen.

Das Material, aus dem heraus Material abzutragen ist, ist vorzugsweise ein kreisförmig-kristalliner Wafer mit mindestens 10, vorzugsweise mindestens 15 cm Durchmesser.

Das Maskenmaterial weist vorzugsweise Aluminium als seine Hauptkomponente auf (Anteil > 90 Gew.-%, vorzugsweise > 95 Gew. %). Daneben können weitere Elemente einlegiert sein, beispielsweise Kupfer (Anteil zwischen 0,5 und 2 Gew.-%, vorzugsweise unter 1 Gew.-%) und/oder Silicium (Anteil zwischen 0,5 und 2 Gew.-%) und/oder Titan (Anteil unter 3 Gew.-%, vorzugsweise unter 1,5 Gew.-%). Dieses Maskierungsmaterial wird als selbständiger Teil der Erfindung angesehen. Auch werden Wafer, die mit einem solchen Maskierungsmaterial ganz oder teilweise bedeckt sind, als selbständiger Teil der Erfindung angesehen.

Die Erfindung kann allgemein bei der Tiefenstrukturierung von Substraten in der Mikromechanik eingesetzt werden, etwa zur Herstellung von Beschleunigungssensoren mit verschieblicher Masse oder von IR-Sensoren, die thermisch isoliert zu halten sind.

Patentansprüche

1. Verfahren zum selektiven Abtragen von Material aus der Oberfläche eines Substrats zur Bildung einer Vertiefung, mit den Schritten
 - Aufbringen einer Maske auf der Oberfläche des Substrats nach Maßgabe des gewünschten selektiven Abtrags, und
 - Trockenätzen des Substrats, dadurch gekennzeichnet, daß ein Metall, vorzugsweise Aluminium zur Bildung der Maske verwendet wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß beim Trockenätzen induktiv Energie in das Ätzmedium eingekoppelt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß das Substrat um mindestens die doppelte, vorzugsweise mindestens die dreifache mittlere freie Weglänge der Plasmaatome von der induktiven Einkopplung entfernt gehalten wird.
4. Verfahren nach Anspruch 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, daß das Substrat um mindestens 10 cm von der induktiven Einkopplung entfernt gehalten wird.
5. Verfahren nach einem oder mehreren der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Druck während des Ätzens unter 5 Pa, vorzugsweise unter 3 Pa liegt.

6. Verfahren nach einem oder mehreren der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß abwechselnd Ätzschritte und Passivierungsschritte für die Seitenwände der Vertiefung stattfinden.
7. Verfahren nach einem oder mehreren der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß bis zu einer Tiefe von mindestens 80 μm , vorzugsweise mindestens 300 μm abgetragen wird.
8. Verfahren nach einem oder mehreren der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Materialabtrag bis zur anderen Seite des Substrats erfolgt.
9. Verfahren nach einem oder mehreren der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß eine Maske einer Dicke von unter 1,5 μm , vorzugsweise unter 0,6 μm gebildet wird.
10. Verfahren nach einem oder mehreren der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Substrat bis zum Rand maskiert wird.
11. Verfahren nach einem oder mehreren der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß beim Aufbringen der Maske das Metall, vorzugsweise Aluminium, aufgedampft oder aufgesputtert wird.

12. Verfahren nach einem oder mehreren der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß beim Aufbringen der Maske eine metallische Schicht nach Maßgabe des gewünschten selektiven Abtrags geätzt wird.
13. Verfahren nach einem oder mehreren der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das verwendete Metall mindestens 90 Gew-% Al aufweist.
14. Verfahren nach einem oder mehreren der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Ätzposition (T) in Tiefenrichtung wiederholt bestimmt wird, wobei bei Erreichung einer bestimmten Position das Ätzen beendet oder auf einen zweiten Ätzprozeß umgeschaltet wird, der qualitativ anders oder mit anderen Betriebsparametern als der vorherige Ätzprozeß abläuft.
15. Verfahren nach einem oder mehreren der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß eine Tiefenbestimmung mittels Laserlicht erfolgt, dessen Eigenschaften nach der Reflektion vom Boden ausgewertet wird, insbesondere bezugnehmend auf die erste Ableitung eines erfaßten Signals.
16. Verfahren nach Anspruch 14 oder 15, dadurch gekennzeichnet, daß im zweiten Ätzprozeß trocken mit induktiv energiegekoppeltem Plasma geätzt wird, wobei der Gasdruck höher und/oder die angelegte Vorspannung niedriger ist.
17. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 14 bis 16, dadurch gekennzeichnet, daß nach dem zweiten Ätzprozeß auf

einen dritten Ätzprozeß umgeschaltet wird, der qualitativ anders oder mit anderen Betriebsparametern als der vorherige Ätzprozeß abläuft.

18. Verfahren nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, daß im dritten Ätzprozeß trocken isotrop und vorzugsweise mit induktiv energiegekoppeltem Plasma geätzt wird, wobei die angelegte Vorspannung 0 sein kann.
19. Verfahren nach einem oder mehreren der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß vor dem Entfernen der Maske vorzugsweise durch nasses Ätzen ein Veraschungsschritt für Polymerreste auf der Maske vorgesehen ist.
20. Verfahren nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, daß die Veraschung mittels Sauerstoffplasma erfolgt.
21. Verfahren nach Anspruch 19 oder 20, dadurch gekennzeichnet, daß nach der Veraschung eine Behandlung mit Tetramethylammoniumhydroxid erfolgt.
22. Verfahren nach einem oder mehreren der vorherigen Ansprüche, gekennzeichnet durch eines oder mehrere der folgenden Merkmale:
 - Das Substrat weist Si auf, vorzugsweise kristallines Silizium.
 - Der Materialabtrag erfolgt aus mehr als 8 %, vorzugsweise mehr als 20 % der Substratoberfläche.

- Das Substrat ist ein scheibenförmiger Wafer mit mindestens 10 cm, vorzugsweise mindestens 15 cm Durchmesser.

23. Verwendung von Aluminium oder einer Aluminiumlegierung mit mindestens 90 Gew.-% Al oder eines Kompositmaterials mit mindestens 90 Gew.-% Al als Maskierungsmaterial für Substrate, die mit induktiv energiegekoppeltem Plasma trocken tiefzuätzen sind.

24. Maskenmaterial zum Maskieren von zu ätzenden Wafern, das Aluminium aufweist,

dadurch gekennzeichnet, daß

der Anteil von Aluminium mehr als 90 Gew.-%, vorzugsweise mehr als 95 Gew.-% beträgt, und

Kupfer in einem Anteil zwischen 0,5 und 2 Gew.-%, vorzugsweise unter 1 Gew.-%, und/oder Silicium in einem Anteil zwischen 0,5 und 2 Gew.-% und/oder Titan in einem Anteil zwischen 0,2 Gew.-% und 3 Gew.-%, vorzugsweise unter 1,5 Gew.-% beigemischt ist.

25. Wafer mit einer Maskierungsschicht mit einem Maskenmaterial nach Anspruch 24.

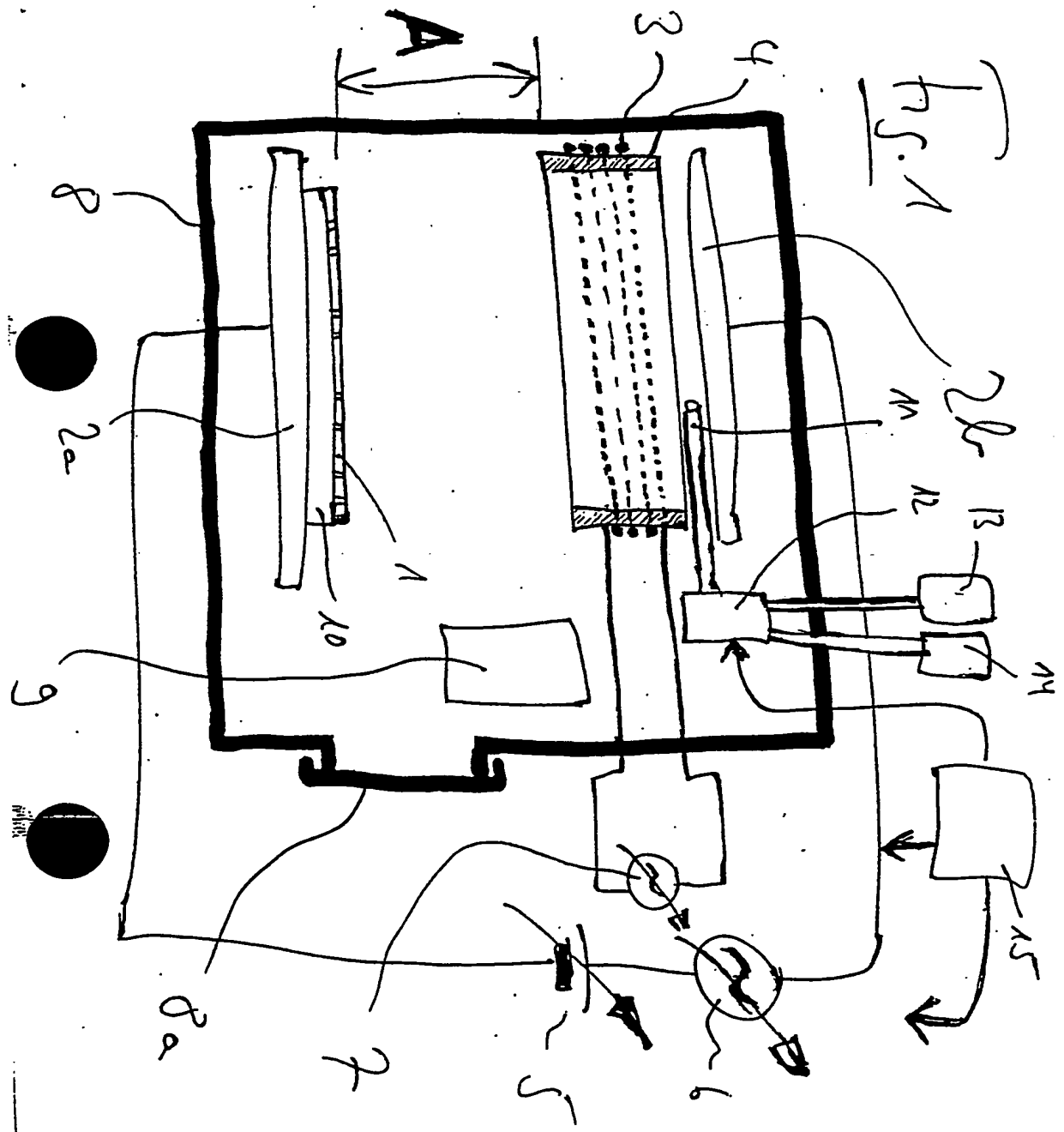
Zusammenfassung

Verfahren zum selektiven Abtragen von Material aus der Oberfläche eines Substrats, Maskierungsmaterial für einen Wafer und Wafer mit einem Maskierungsmaterial

Ein Verfahren zum selektiven Abtragen von Material aus der Oberfläche eines Substrats zur Bildung einer Vertiefung hat die Schritte Aufbringen einer Maske auf der Oberfläche des Substrats nach Maßgabe des gewünschten selektiven Abtrags, und Trockenätzen des Substrats, wobei ein Metall, vorzugsweise Aluminium als Maskenmaterial verwendet wird. Es kann induktiv Energie in ein Plasma eingekoppelt werden.

(Fig. 1)

Fig. 1



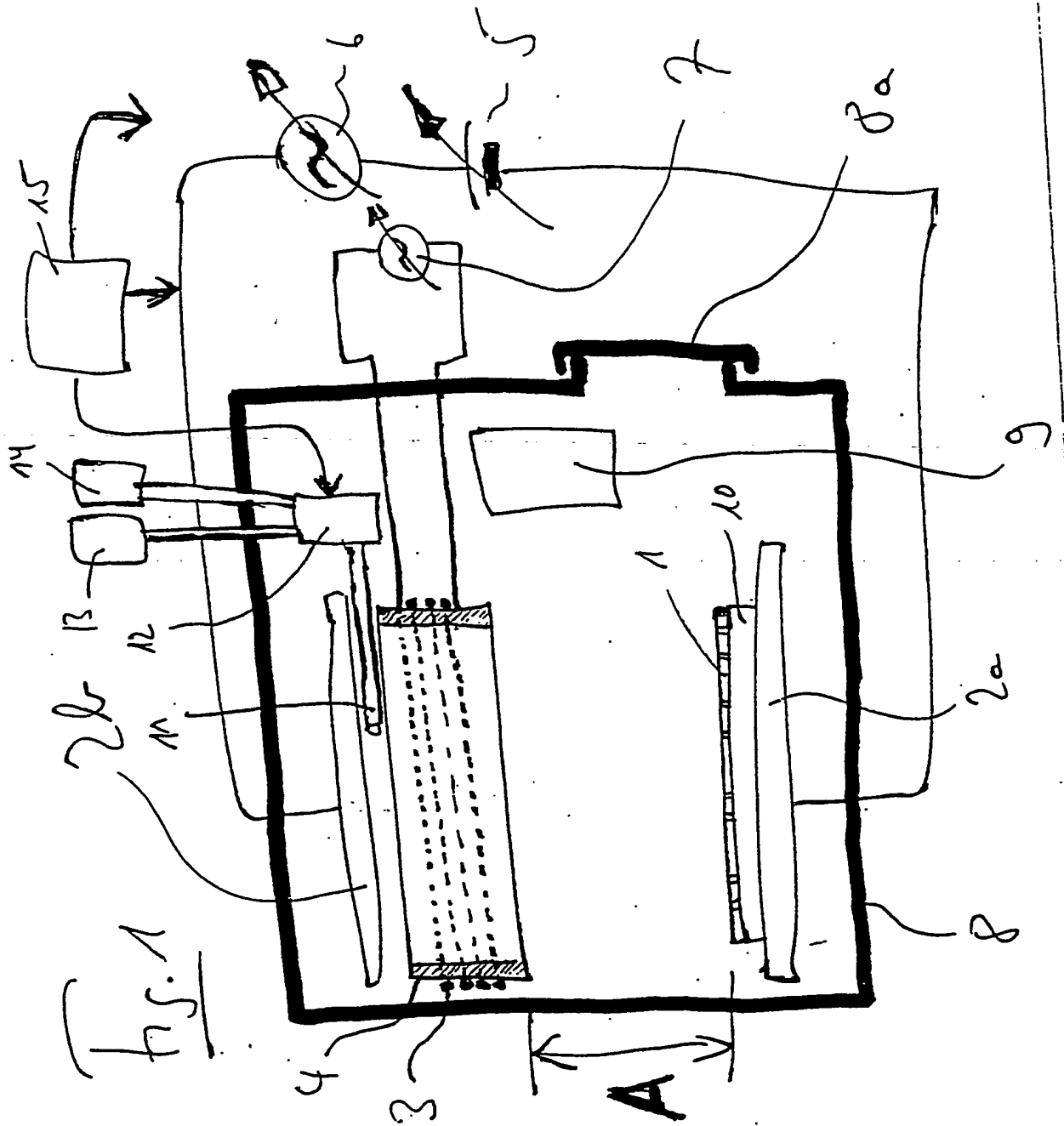


Fig. 2

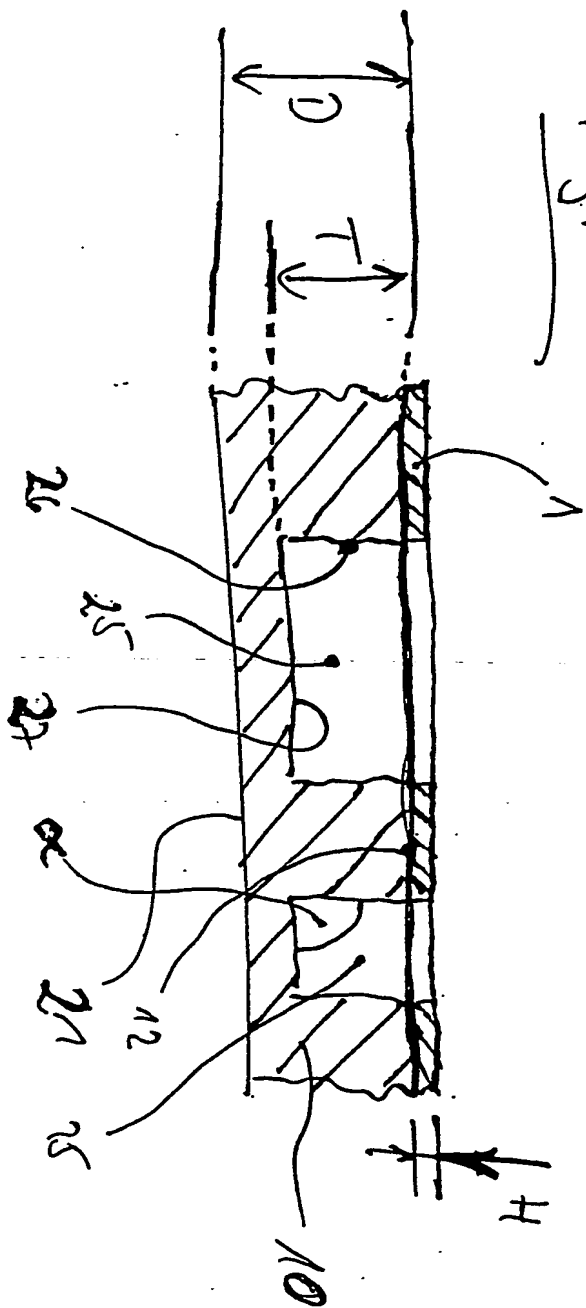


Fig. 3

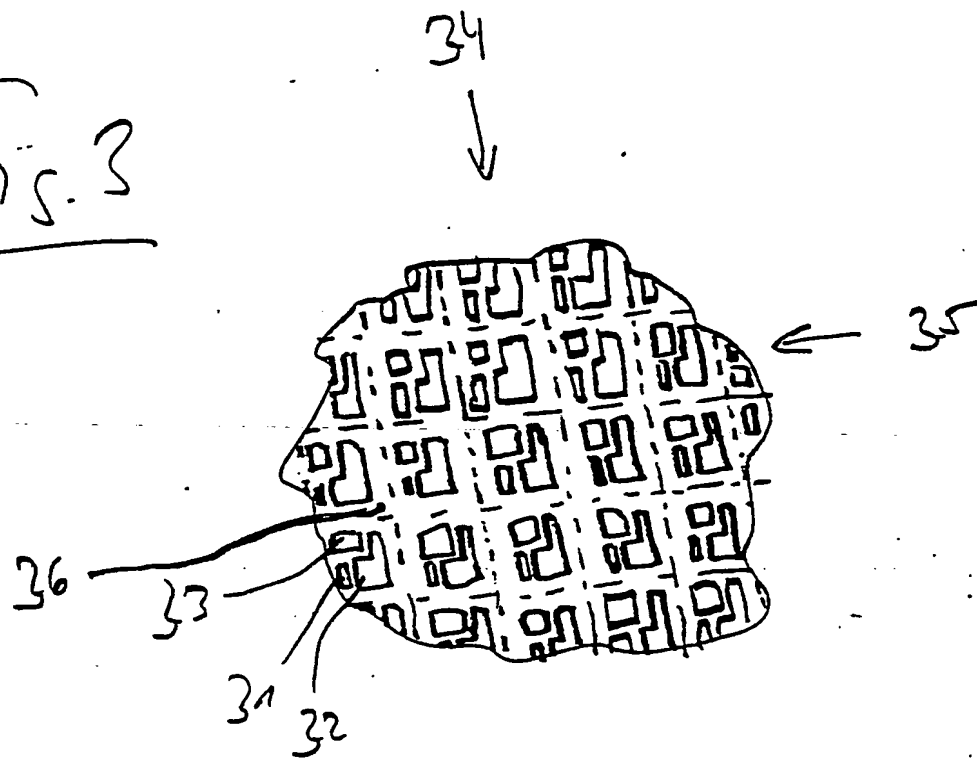
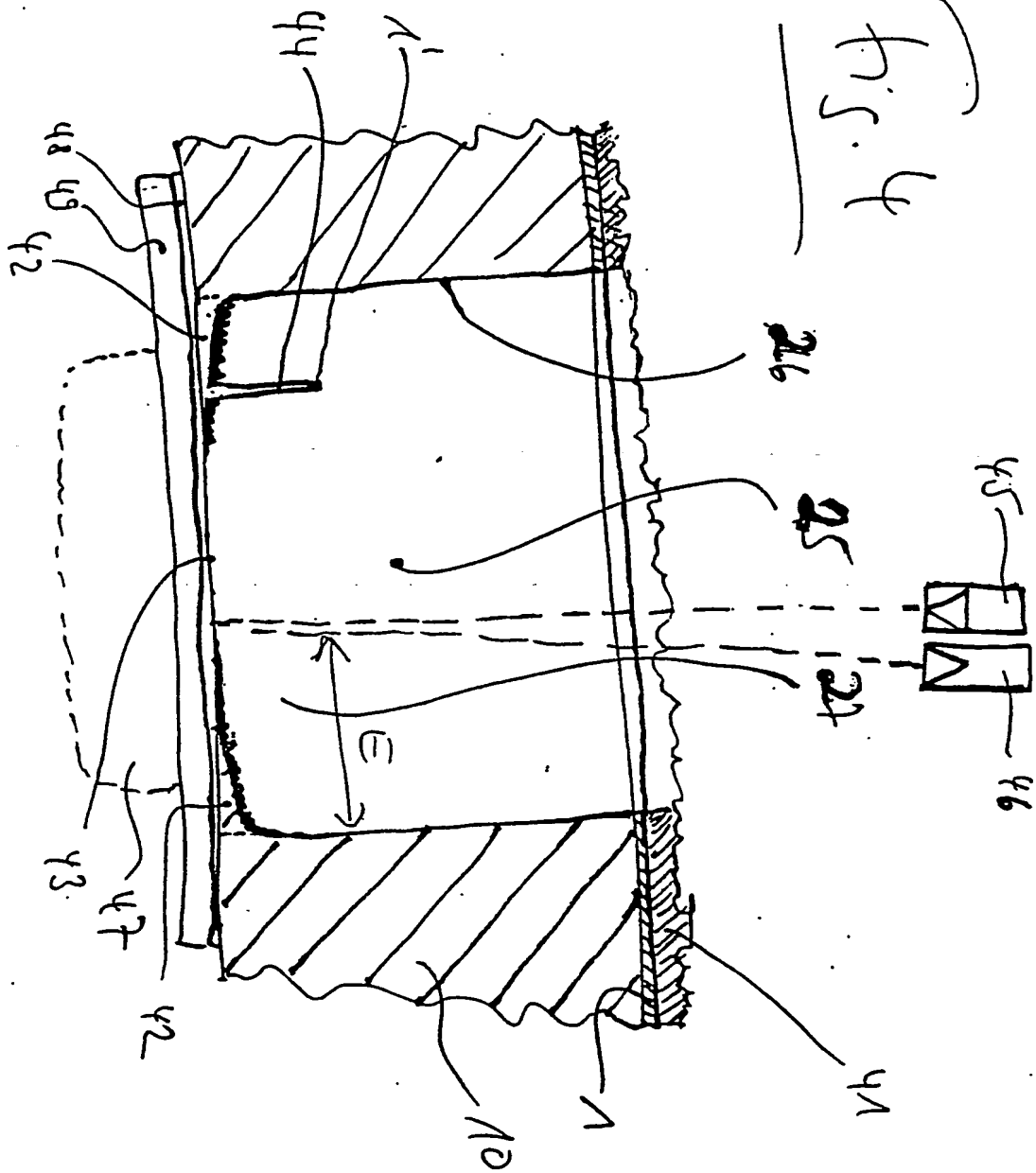


Fig. 4



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☒ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.